植 物 分 类 与 资 源 学 报 2015, 37 (6): 788~792
Plant Diversity and Resources DOI: 10.7677/ynzwyj201515047

不结球白菜抽薹性状的配合力及遗传效应研究*

李晓锋, 朱红芳, 朱玉英**, 侯瑞贤
(上海市农业科学院园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201106)

摘要: 目前育种者对不结球白菜育种的研究主要集中在夏季及秋冬季弱冬性品种上, 对适宜春季栽培的不结球白菜耐抽薹性的育种研究鲜有报道, 然而市场对不结球白菜的周年生产要求迫切。本研究通过对不同抽薹期基因型的不结球白菜的配合力及遗传力进行分析, 为不结球白菜耐抽薹时期的筛选及新品种的选育提供理论依据。本研究采用 Griffing 完全双列杂交方法 I 对 4 个不结球白菜自交系抽薹性状的配合力进行分析, 并对其抽薹性状的遗传参数进行估算。结果表明: 自交系 M11-1-2 和 M11-1-4 的一般配合力均较好, 具有作为耐抽薹亲本材料的潜力; 抽薹期性状的广义遗传力和狭义遗传力分别为 97.42% 和 91.41%, 抽薹性状主要受加性效应基因控制, 因此, 在早世代对不结球白菜抽薹性状的选择是有效的途径。
关键词: 不结球白菜; 抽薹性状; 配合力; 遗传力
中图分类号: Q 945 **文献标志码**: A **文章编号**: 2095-0845(2015)06-788-05

Combining Ability and Heritability Analysis of Bolting Character of Non-heading Chinese Cabbage

LI Xiao-feng, ZHU Hong-fang, ZHU Yu-ying**, HOU Rui-xian
(*Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Lab of Protected Horticultural Technology*, Shanghai 201106, China)

Abstract: Combining ability and heritability of bolting character of four non-heading Chinese cabbage inbred lines were analyzed using Griffing diallel cross I. The results showed that the general combining ability of inbred lines M11-1-2 and M11-1-4 were better, with as bolting-resistant potential parental material. The broad sense heritability and narrow sense heritability of bolting character were 97.42% and 91.41% respectively, and mainly affected by additive genes. So, the selection of bolting characters in non-heading Chinese cabbage was effective in early generations.
Key words: Non-heading Chinese cabbage; Bolting character; Combining ability; Heritability

不结球白菜 (*Brassic campestris* ssp. *chinensis* Makino) 又名青菜、小白菜, 原产中国, 十字花科芸薹属蔬菜。不结球白菜具品质柔嫩、风味独特、营养丰富等特点, 在人们生活中占有重要的地位, 特别是在上海、长江中下游及其以南地区, 不结球白菜是人们每日必食、不可缺少的大众化蔬菜。同时, 由于不结球白菜品种多, 种植面积大, 能够全年进行优质栽培、全年供应。目前生产上应用的青菜品种大多数都是适合秋冬季或夏季栽培的弱冬性类型品种, 在春季 1~4 月份播种栽培会引起抽薹开花而不能获得正常的产品。原有的晚抽薹地方品种 "三月慢"、"四月慢" 等, 由于民间自行随意留种, 品种混杂、其耐抽薹性状也在不断退化, 直接影响了不结球白

* 基金项目: 上海市绿叶蔬菜产业建设体系项目; 863 计划 (2013AA103006) 资助
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: yy5@saas.sh.cn
收稿日期: 2015-03-17, 2015-08-04 接受发表
作者简介: 李晓锋 (1982-) 硕士, 助理研究员, 研究方向: 青菜遗传育种。E-mail: lxf_0325@163.com

菜春季生产的产量与品质，给生产带来较大损失。创建耐抽薹不结球白菜新种质，培育优良的适宜春季栽培的耐抽薹新品种，是解决这一问题的最经济有效的途径。

根据遗传机理，植物的诸多性状均为微效多基因控制的数量性状遗传，基因间具有累加效应（朱玉英等，1994）。不结球白菜具有明显的杂种优势，优良亲本的选择是培育杂交新品种的关键，亲本配合力的优劣是配置杂交组合时要考虑的关键因素。一般配合力反映的是基因的加性效应，能够固定遗传；特殊配合力反映的是非加性基因效应，而且不能够固定遗传（方智远和孙培田，1982；Gray 和 Grisp，1977）。利用一般配合力和特殊配合力的效应值可以判断和选择育种的亲本材料，由遗传力的大小位次，可以决定选择时期和方法（李栒和官春云，1981），这对不结球白菜的育种具有重要的意义。耐抽薹是不结球白菜重要的性状之一，对春季栽培的品种尤为重要，但有关不结球白菜抽薹性状的配合力及遗传力方面的研究未见报道。本研究采用 Griffing 完全双列杂交方法 I 对 4 个不结球白菜自交系抽薹性状的配合力进行分析，并对其抽薹性状的遗传参数进行估算，为不结球白菜耐抽薹新种质的创制及新品种的选育提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料

试验选用 4 个不结球白菜高代自交系作为亲本，分别为 M11-1-1（1）、M11-1-2（2）、M11-1-3（3）和 M11-1-4（4），下文中提到的自交系均用括号中的数字来代替。

四个高代自交系亲本的形态特征及特性：

M11-1-1（1）：易抽薹高代自交系，叶片浅绿色、长椭圆形，叶柄淡绿色，株型中等，株高 22 cm 左右、开展度 25 cm 左右，抗病性强；

M11-1-2（2）：耐抽薹高代自交系、叶片绿色、叶面光滑、椭圆形，叶柄宽、淡绿色，株高 20 cm 左右、开展度 25 cm 左右，耐寒、耐抽薹、抗病抗逆性强；

M11-1-3（3）：易抽薹高代自交系、叶片浅绿色、阔椭圆形，叶柄宽、淡绿色，植株中等，株高 20 cm 左右、开展度 25 cm 左右，冬性弱、抗病性强；

M11-1-4（4）：耐抽薹高代自交系、叶片深绿色、叶面光滑、发亮、阔椭圆形，叶柄宽、绿色，植株中等，株高 20 cm 左右、开展度 25 cm 左右，耐寒、耐抽薹、抗病抗逆性强。

1.2　方法

1.2.1　*材料的获得*　试验采用 Griffing 完全双列杂交方法 I 进行遗传交配设计，4 个不结球白菜自交系亲本，于 2013 年春两两杂交获得正反交 12 份杂交组合，再加上 4 份自交系构成 16 份材料的试验群体。

1.2.2　*试验材料的种植*　16 份材料于 2013 年 11 月 1 日播种，12 月 11 日定植，试验采用完全随机区组设计，三次重复，每小区 30 株，常规方法进行日常田间管理。

1.2.3　*性状调查方法*　文中不结球白菜抽薹性状以抽薹期（天）表达，调查不结球白菜生长期间每份材料从播种到抽薹时间的长短，抽薹所需要时间长则为耐抽薹。抽薹期为从播种到肉眼可见第一株花蕾的天数（Bohuon 等，1998）。

1.2.4　*数据处理方法*　试验采用 Griffing 完全双列杂交配合力统计分析方法，通过固定模型（模型Ⅰ）对自交系抽薹期性状进行配合力效应分析；将供试材料视作随机样本按照随机模型（模型Ⅱ）估计抽薹期遗传方差组分及遗传力（刘来福等，1984）。数据整理与分析用 Excel2003 软件进行，数据分析采用 DPS7.05 数据处理系统（唐启义和冯明光，2002）。

2　结果与分析

2.1　不结球白菜杂交组合抽薹期的性状表现

抽薹性不同的不结球白菜材料杂交后代的抽薹性存在较大的差异。最早抽薹的组合为 3×1（125.00），反交组合 1×3（125.67）与其观察值差别不大；最晚抽薹的组合为 2×4（148.00）和 4×2（148.00），正反交观察值表现一致（表 1）。结果表明，易抽薹的亲本杂交仍然表现易抽薹，易抽薹的亲本与耐抽薹的亲本无论正反杂交均表

表 1　不结球白菜自交系双列杂交组合抽薹期均值

Table 1　The mean of bolting combination by diallel cross in non-heading Chinese cabbage inbred line

自交系及组合 Inbred lines and Combination	抽薹期 Bolting time /days	自交系及组合 Inbred lines and Combination	抽薹期 Bolting time /days
自交系 1	129.33	自交系 3	125.00
1×2	138.67	3×1	125.00
1×3	125.67	3×2	135.33
1×4	141.33	3×4	142.00
自交系 2	152.00	自交系 4	150.67
2×1	140.00	4×1	140.00
2×3	135.33	4×2	148.00
2×4	148.00	4×3	142.67

现易抽薹，耐抽薹的亲本杂交依然表现耐抽薹，易抽薹对耐抽薹为显性。

2.2 不结球白菜抽薹期的基因型及配合力的方差分析

将所得的抽薹期数据进行方差分析发现，杂交组合试验重复间差异不显著，抽薹期不同基因型间差异达到极显著，而正反交间差异不显著（表 2），表明 4 个不结球白菜自交系亲本间配合力有差异，这一现象也表明不结球白菜抽薹期是受核基因控制的，与细胞质无关；配合力的方差分析表明，无论是模型Ⅰ还是模型Ⅱ，抽薹期的一般配合力效应和特殊配合力效应均达到差异极显著，表明不结球白菜自交系亲本的一般配合力效应间差异极显著，不同杂交组合的特殊配合力效应间差异也是极显著，说明不结球白菜抽薹性状的遗传同时受基因的加性效应和非加性效应共同作用。

表 2 基因型及配合力方差分析

Table 2 Variance analysis of genotype and combining ability

变异来源 Source of variation	自由度 Degree free	抽薹期 F 值 F test value of bolting	
		模型Ⅰ Model Ⅰ	模型Ⅱ Model Ⅱ
区组 Block	2	0.10	
基因型 Genotype	15	92.59**	
一般配合力 General combining ability (GCA)	3	437.33**	38.02**
特殊配合力 Specific combining ability (SCA)	6	12.38**	12.38**
反交 Reciprocal cross	6	0.43	0.43

注：** 表示 0.01 水平的显著性差异

Note: ** indicate significance at $P < 0.01$ respectively

2.3 不结球白菜抽薹期的配合力分析

2.3.1 不结球白菜抽薹期的一般配合力效应分析

不结球白菜不同亲本抽薹期的一般配合力效应值差异极为显著。4 个自交系的配合力效应值差别较大，其大小顺序为 4>2>1>3（表 3）。其中，不结球白菜亲本 4 和 2 的一般配合力效应值为正值，表明亲本 4 和 2 抽薹晚，即耐抽薹；相反的，不结球白菜亲本 1 和 3 的一般配合效应值为负值，表明亲本 1 和 3 抽薹早，即易抽薹。一般配合力是由亲本品种基因的加性效应决定，由此可知，亲本 4 和 2 在不结球白菜耐抽薹育种实践中有良好的利用潜力。

表 3 不结球白菜抽薹期的一般配合力效应值及比较

Table 3 Estimates and comparisons of general combining ability effects for bolting in non-heading Chinese cabbage inbred line

自交系 Inbred lines	抽薹期效应值 Effect value for bolting
4	6.73aA
2	4.98bB
1	−5.02cC
3	−6.69dD

注：大小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平的显著性差异

Note: Capital letters and small letters indicate significance at $P < 0.01$ and $P < 0.05$ respectively

2.3.2 不结球白菜抽薹期的特殊配合力效应分析

特殊配合力是由亲本基因的非加性效应（等位基因的显性效应、非等位基因的上位性效应）决定的，它反映了两个亲本之间的特殊关系，是产生杂种优势的主要因素，特殊配合力不能稳定遗传给后代，但杂种优势的利用和杂交育种中具有重要的指导作用。试验结果表明不结球白菜同一亲本所配组合的特殊配合力差异很大（表 4）。其中，不结球白菜组合 3×4、1×2、4×1、3×1 和 1×4 的特殊配合力效应值为正值，说明这 5 组组合的杂种优势优良；3×2 和 4×2 的为 0，说明这两组组合的杂种优势中等；而其它组合均为负值，说明这些组合的杂种优势较差。

表 4 不结球白菜抽薹期的特殊配合力效应值及比较

Table 4 Estimates and comparisons of special combining ability effects for bolting in non-heading Chinese cabbage inbred line

组合 Combination	抽薹期效应值 Effect value for bolting	组合 Combination	抽薹期效应值 Effect value for bolting
3×4	2.70	4×2	0.00
1×2	0.51	4×3	−0.25
4×1	0.50	2×1	−0.50
3×1	0.25	1×3	−1.23
1×4	0.20	2×3	−1.23
3×2	0.00	2×4	−1.79

试验结果还表明，不结球白菜特殊配合力高的组合，并不是由一般配合力都高的亲本组成（表 4），特殊配合力效应值最高的组合为 3×4，是由一般配合力最高的亲本 4 和一般配合最低的 3 组成；同时，亲本 4 和 2 的一般配合力都高，但其所配组合 4×2 的特殊配合力效应值为 0，而组合 2×4 的特殊配合力效应值为最小的负值；

其中由一般配合力效应值较高的亲本 2 为母本配置的组合特殊配合力效应值均较低，因此，耐抽薹亲本 2 在耐抽薹育种的利用中有待进一步的试验验证；而亲本 3 的一般配合力效应值最低，但其为母本所配的几个组合特殊配合力却较高。由此可见，在杂种优势的育种实践中，虽然需要考虑材料的一般配合力较好的作为亲本，但还应注意亲本间的特殊配合力效应，综合考虑得出最优的组合方式。

2.4　不结球白菜抽薹期的群体配合力及遗传力分析

将不结球白菜试验材料看作随机样本，按随机模型估计得到的各项方差及遗传力，其结果如表 5 所示。不结球白菜抽薹期性状的一般配合力方差大于特殊配合力方差；抽薹期的加性方差大于显性方差，说明抽薹期主要受加性效应影响；抽薹期遗传方差与表型方差均大于环境方差，说明抽薹期的表现型变异主要受遗传影响，受外界环境的影响较小；并且，抽薹期的广义遗传力与狭义遗传力分别为 97.42% 和 91.41%，说明抽薹期在上下代遗传中的遗传变异主要是由加性效应的变异引起的。综上可知，不结球白菜抽薹期性状主要受基因的加性效应控制，能够稳定的遗传给后代；同时，不结球白菜抽薹期的遗传力均较高，因此，在育种实践中，对不结球白菜抽薹性状在早世代进行选择是有效的途径。

表 5　不结球白菜抽薹期群体的遗传力及遗传参数分析

Table 5　Analysis of inheritability and other genetic parameters for bolting in non-heading Chinese cabbage

遗传力和遗传参数 Inheritability and other genetic parameters	抽薹期 Bolting
一般配合力方差 VG（GCA variance）	38.02
特殊配合力方差 VS（SCA variance）	12.38
加性方差（Additive variance）	90.88
显性方差（Dominant variance）	5.98
遗传方差（Genetic variance）	96.86
环境方差（Environmental variance）	2.56
表型方差（Phenotypic variance）	99.42
广义遗传力/%（Broad sense heritability H_B^2）	97.42
狭义遗传力/%（Narrow sense heritability H_N^2）	91.41

3　讨论

作物性状的基因组成、基因效应和基因作用方式决定品种的选择形式（程斐等，1999）。本研究表明，不结球白菜的抽薹性状是受核基因控制的数量性状，易抽薹对耐抽薹为显性。因此，在育种实践中，应选择抽薹期尽量晚的高代自交系作为优势杂交育种利用的亲本。

一个组合的优劣，不仅取决于双亲的一般配合力效应，而且也取决于特殊配合力效应。二者配合力方差均好的亲本，才是组配杂种一代的优良亲本（刘玉梅等，1996）。本研究发现，不结球白菜特殊配合力效应高的组合，其亲本的一般配合力效应不一定高，两者没有直接的关系，这表明在杂交优势的利用中，尽管特殊配合力效应起到重要的作用，但一般配合力效应的高低也是衡量一个亲本杂种优势利用价值的指标，因此，在杂种优势的育种实践中，即要考虑一般配合力效应好的材料作为亲本，但还应兼顾亲本间的特殊配合力效应，特别是特殊配合力方差，综合衡量得出最优的配组方式。

本研究还发现，一般配合力效应差别较大的亲本配置的组合，其特殊配合效应较大。例如本研究中的亲本 3 与 4，亲本 3 的一般配合最低，亲本 4 的一般配合力最高，以这两个亲本配制的杂交组合的特殊配合力效应最大，这与在结球甘蓝中（李梅等，2009；李梅，2009）的研究结果一致，同时也印证了杂种优势的超显性假说，超显性假说认为杂种优势形成的根本原因就是异质性本身，两个基因型差别越大，杂种优势就越大。

遗传力是育种工作中的一个重要的参数，是亲本传递遗传特性的能力，它是评价亲本不同性状的优劣及遗传能力强弱的重要指标。本研究结果表明，不结球白菜抽薹性状的广义遗传力和狭义遗传力均较高，这表明不结球白菜抽薹性状受环境影响小，耐抽薹的基因型与表现性相关性大，耐抽薹亲本能够稳定的将这一性状遗传给后代，因此，在育种实践中，对不结球白菜抽薹性状在早世代进行选择是有效的途径，这与李梅等（2009）及李娜等（2011a，b）在结球甘蓝、程斐等（1999）在大白菜、余阳俊等（2005）在白菜作物以及戚存扣和盖钧镒（2002）及蔡长春等（2007）在甘蓝型油菜上的研究结果一致；但是，张韬与王超（2003）在春甘蓝的研究上有所不同，其采用了两套供试组合研究春甘蓝的抽薹性状，但两套组合广义遗传力与狭义遗传力均较

低，两套广义遗传力与狭义遗传力分别为38.8%、30.4%和44.5%、37.3%，抽薹性状受外界环境的影响较大。遗传力是针对作物不同性状在特定群体和特定环境中的研究，试验所选用的亲本材料不同，试验环境不同，可能试验结果会有所不同，这有待我们利用其它的遗传研究方法去进一步的研究。

〔参 考 文 献〕

李梅, 2009. 结球甘蓝抽薹开花性状的遗传、QTL定位及生理研究［D］. 北京: 中国农业科学院

李娜, 2011a. 甘蓝耐抽薹性遗传分析及春化过程中的生理生化指标研究［D］. 重庆: 西南大学

李栒, 官春云, 1981. 油菜主要性状遗传力和遗传相关的初步研究［J］. 遗传, **3** (3): 24—27

刘来福, 毛盛贤, 黄远樟, 1984. 作物数量遗传［M］. 北京: 农业出版社, 243—250

唐启义, 冯明光, 2002. 实用统计分析及其DPS数据处理系统［M］. 北京: 科学出版社, 256—259

Bohuon EJR, Ramsay LD, Craft JA, 1998. The association of flowering time quantitative trait loci with duplicated regions and candidate loci in *Brassica oleracea*［J］. *Genetics*, **50**: 393—401

Cai CC (蔡长春), Cheng BY (陈宝元), Fu TD (傅廷栋) *et al*., 2007. Genetic analysis of flowering time and photoperiod sensitivity in Rapeseed (*Brassica napus* L.)［J］. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), **33** (2): 345—348

Cheng F (程斐), Li SJ (李式军), Ao YS (奥岩松) *et al*., 1999. Inheritance of bolting character of Chinese cabbage［J］. *Journal of Nanjing Agricultural University* (南京农业大学学报), **22** (1): 26—28

Fang ZY (方智远), Sun PT (孙培田), 1982. Determination of the combining ability of some quantit-ative characters of cabbage self-bred line［J］. *Scientia Agriculture Sinica* (中国农业科学), (1): 49—55

Gray AR, Crisp P, 1977. Breeding system, taxonomy, and breeding strategy in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.)［J］. *Euphytica*, **26** (2): 369—375

Li M (李梅), Liu YM (刘玉梅), Fang ZY (方智远) *et al*., 2009. Combining ability and heritability analysis of bolting and flowering characters in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*)［J］. *Acta Agrculturae Borleai-Sinica* (华北农学报), **24** (5): 86—89

Li N (李娜), Li CQ (李成琼), Ren XS (任雪松) *et al*., 2011b. Combining ability and heritability analysis of bolting characters in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*)［J］. *China Vegetables* (中国蔬菜), (10): 1—6

Liu YM (刘玉梅), Wang XW (王晓武), Fang ZY (方智远) *et al*., 1996. Main characters of early autumn cabbage and their combining abilities and quangenetic effects［J］. *Journal of Southwest Agricultural University* (西南农业大学学报), **18** (5): 421—424

Qi CK (戚存扣), Gan JY (盖钧镒), 2002. Analysis of genotype difference and gene effects of flowering time of Rapeseed (*Brassica napus* L.) from various ecological origins［J］. *Acta Agron-Omica Sinica* (作物学报), **28** (4): 455—460

Yu JY (余阳俊), Zhang FL (张凤兰), Zhao YY (赵岫云) *et al*., 2005. The Inheritance of late bolting in cross of Chinese cabbage × Chinese cabbage and the intraspecific crosses of paktroi × Chinese cabbage and Turnip × Chinese cabbage［J］. *Acta Agrculturae Borleai-Sinica* (华北农学报), **20** (3): 17—21

Zhang T (张韬), Wang CH (王超), 2003. Study on inheritance of bolting character in spring cabbage［J］. *Journal of Northeast Agricultural University* (东北农业大学学报), **34** (4): 368—371

Zhu YY (朱玉英), Zhang SQ (张素琴), Ling CH (凌超) *et al*., 1994. Study on effects and utilization of cross-breeding of generations' self-lines on non-heading Chinese cabbage［J］. *Acta Agrculturae Shanghai* (上海农业学报), **10** (2): 33—36